

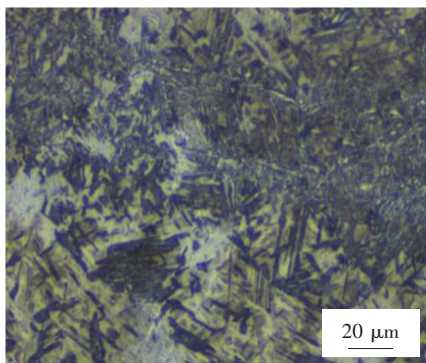


图7 焊接接头金相组织

3 结论

(1) 基于 PID 及前馈控制的轴向力闭环控制模式, 有利于保证焊接力的精度及稳定性。基于焊接力开环模式及闭环模式交互控制方式研制的液压系统及成套摩擦焊接装备, 在焊接辅助过程及自动焊接过程中轴向力的变化经历了七个阶段。从 S_1 到 S_4 阶段中, 轴向力的动态特性对摩擦焊接缩短量及工件焊后轴向尺寸精度无明显影响; 从 S_5 到 S_7 阶段中, 轴向焊接力的控制精度、稳定性对摩擦焊接轴向缩短量精度及工件焊后

轴向尺寸精度具有直接和间接的影响。

(2) 在 HWI-HSMZ-130 型连续驱动摩擦焊机, 实现规格为 XDZ190、材料为 40Mn2、工件焊接端面外径为 $\phi 126$ mm、壁厚为 14 mm 的支重轮工件摩擦焊接, 焊接接头成形良好, 焊后轴向尺寸满足精度要求。

参考文献

- [1] 周军, 张春波, 杜森, 等. 摩擦焊在航空领域的应用[J]. 焊接, 2017(6): 1-5.
- [2] 秦国梁, 张春波, 周军, 等. 37CrMnMo 钢管径向摩擦焊接头组织与性能[J]. 焊接学报, 2012, 33(1): 21-24.
- [3] 毛信孚, 刘小文, 谢伟. 汽车凸轮轴摩擦焊接、热处理及其组织性能[J]. 航空精密制造技术, 2007(4): 47-49.

第一作者简介: 张春波, 1986 年出生, 博士研究生; 主要从事摩擦焊工艺及装备研究, 工程师, 已发表学术论文 10 余篇。

通讯作者简介: 周军, 1963 年出生, 硕士, 研究员, 博士生导师; 主要从事摩擦焊接装备及工艺研究, 已发表论文 50 余篇。

S380 高频焊管焊缝开裂分析

孟根巴根, 艾兵权, 王秋雨, 杜雁冰

(唐山钢铁集团有限责任公司, 河北 唐山 063016)

摘要: 针对 S380 热轧板焊管开展压扁和扩孔试验时焊缝开裂问题, 利用扫描电镜、金相显微镜和显微硬度检测手段对焊接接头进行组织观察和性能检验。试验结果表明, S380 焊缝熔合线处出现魏氏组织和焊缝中心尺寸较大的熔融金属是导致焊管压扁试验产生开裂的主要原因, 采取了加大焊接辊挤压力、加快焊缝金属冷却速度和使用了微合金化成分体系材料等针对性改进措施后开裂率明显降低。

关键词: 高频焊管; 焊缝; 魏氏组织; 裂纹

中图分类号: TG441.7

0 前言

高频焊是直缝焊管生产中采用的主要焊接方法之一, 高频焊接制管, 钢带被送入成型机, 形成圆筒状钢

管通过感应圈, 感应圈附近的磁场产生感应电流通过钢带边缘, 钢带边缘由于自身电阻产生电阻热而被加热, 加热的钢带边缘经挤压辊挤压形成焊缝。焊管的质量主要取决于焊缝的质量^[1-8], 高频焊没有添加量, 实际上是一种锻焊。如果生产过程控制得比较好, 熔合面不会残留熔融金属或氧化物^[9-13]。

某钢管制造厂用厚度为 5.6 mm 的唐钢 S380 钢板

收稿日期: 2019-03-04

doi:10.12073/j.hj.20190304002

制成钢管,在压扁和扩孔试验时,约有 3% 的钢管存在焊缝开裂现象。钢管制作的工艺流程:钢板→纵切下料→卷管→高频焊接→挤出部分焊肉→修磨→成品。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

试验材料为开发的热轧 S380 钢,其化学成分和力学性能见表 1。焊接方法为高频焊,高频频率为 300 kHz,

输入功率为 500 kW,焊接速度为 20 m/min。

1.2 试验方法

对接焊后试板的焊接接头,经线切割后制成的金相试样用 4% 硝酸酒精腐蚀后,在 SteREO Discovery V12 体视显微镜下拍宏观形貌,在 OLYMPUS – PMG3 金相显微镜下观察显微组织并照相;利用 Anton Par MHT – 10 显微硬度计对焊接接头进行显微硬度分布的测定;并利用 SIGMA – HD 型扫描电子显微镜观察其断口形貌。

表 1 S380 钢的化学成分和力学性能

化学成分(质量分数,%)						屈服强度	抗拉强度	断后伸长率
C	Mn	P	S	Si	Al	R_{el}/MPa	R_m/MPa	$A_{50}(\%)$
0.19	1.11	0.015	0.005	0.15	0.036	432	565	27

2 试验结果和分析

2.1 焊接接头组织

高频焊是用流经工件连接面的高频电流所产生的电阻热加热,并在施加或不施加顶锻力的情况下,使工件金属间实现相互连接的一类焊接方法。开裂焊管的试样经精抛光后在显微镜下观察,如图 1 所示,焊缝各区域组织如图 2 所示,开裂位置为焊缝中心,如图 2a 所示。高频焊的特点是焊合面加热速度快,加热时间短,加热后即进行挤压,在挤压的过程中,加热到熔融状态的氧化物被挤出了界面,焊接时母材热影响区上各点距离的远近不同,各点所经历的焊接热循环不同,主要以下几个区:熔合区、过热区、完全重结晶区、不完全重结晶区和母材等。焊缝中心熔合线区域为 80 μm 左右的白亮线为熔合区,它是焊缝熔化层金属被挤出后所遗留下来的脱碳区。焊缝中心熔合区位置加热温度很高为 1 300 $^{\circ}\text{C}$ 以上,高温停留时间长,组织为铁素体和魏氏体组织,如图 2b 所示。靠近熔合区一般为固相线以下到 1 100 $^{\circ}\text{C}$ 左右,为过热区,处于 A_{c3} 温度以上,且在此温度的停留时间较长,金属处于过热状态,在该温度区域奥氏体晶界相当活泼,晶粒的长大无任何的阻碍,由此引起该区域形成的晶粒粗大,该区域的组织为魏氏体组织 + 少量铁素体 + 贝氏体(图 2c)。其组织特征为在一个粗大的奥氏体晶粒内形成许多平行的铁素体针片,在铁素体针片之间的剩余奥氏体最后转变为珠光体。魏氏体组织不仅晶粒粗大,而且由于大量铁素体针片形成的脆弱面,使金属的韧性急剧下降,是使焊接接头变脆的一个主要原因。魏氏组织的形成决定金属在高温下停留的时间。对于同一种焊接方法,施

焊时采用的热输入越大,高温下停留的时间越长,过热越严重,奥氏体晶粒长得越粗大,越容易得到魏氏体组织,焊接接头的性能就越差^[14]。

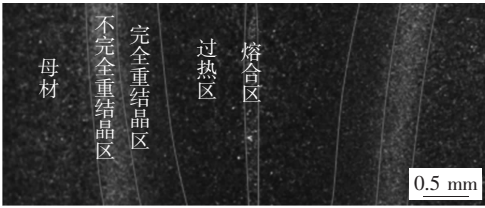


图 1 焊接接头宏观组织

热影响区靠近粗晶区的地方为完全重结晶区,又称细晶区。焊接过程中母材热影响区被加热到 1 100 $^{\circ}\text{C}$ ~ A_{c3} 的部位,将发生重结晶,即铁素体和珠光体全部转化为奥氏体(图 2d),然后在空气中冷却得到细小均匀的珠光体和铁素体,相当于热处理时的正火组织。此区的塑性和冲击韧性都比较好,是焊接热影响区中组织和性能较好的区域。

热影响区靠近母材的地方为不完全重结晶区,焊接温度在 A_{c3} ~ A_{c1} 范围内。由于此范围内只有一部分组织发生了相变重结晶过程,成为晶粒细小的铁素体和珠光体,而另一部分是始终未能熔入奥氏体的铁素体,冷却后成为粗大的铁素体,如图 2e 所示,因此这个区域的晶粒大小不一,组织不均匀,故力学性能也不均匀。母材组织为铁素体 + 珠光体 + 贝氏体,如图 2e 所示。

2.2 焊接接头扫描电镜结果

图 3 为热轧方管上取的扫描电镜照片,焊缝中心出现长度约为 0.7 mm 的夹渣,经过扫描电镜能谱分析结果为 Mn 的氧化物,该类缺陷产生原因为结合面上的熔融金属没有全部排出。采取了加大焊接棍挤压力该缺陷消除。

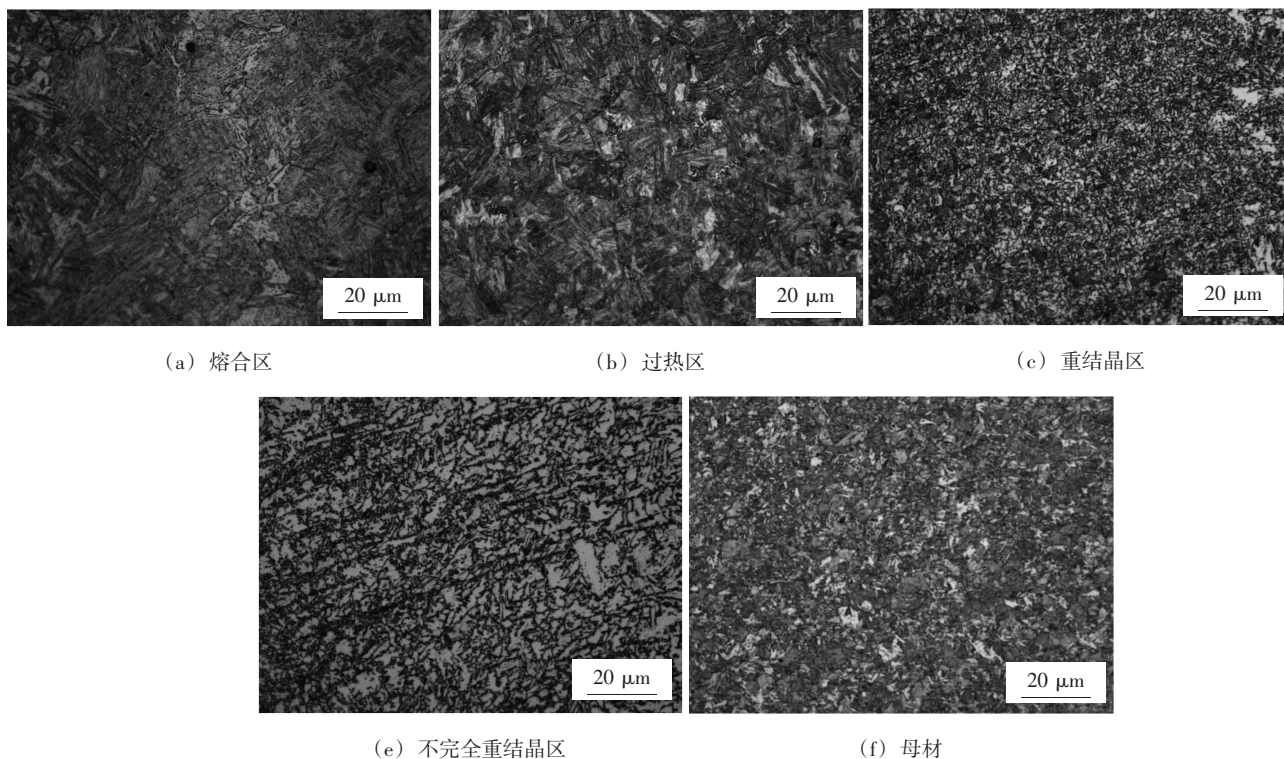


图2 S380 焊接接头组织

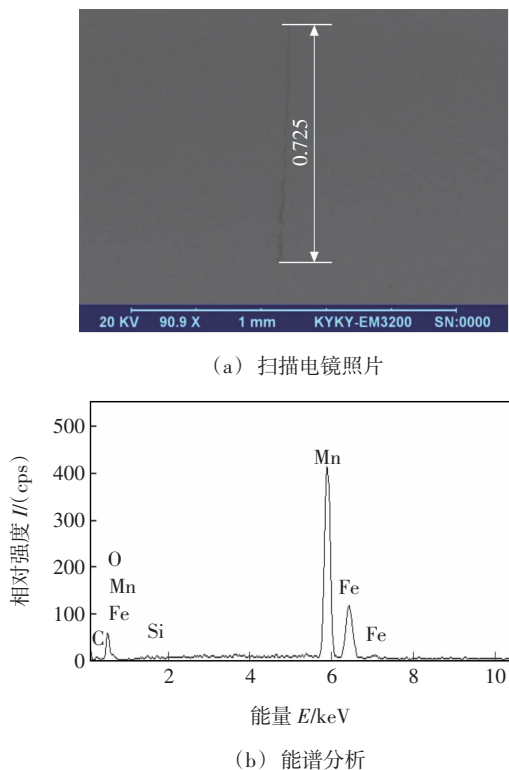


图3 扫描电镜及能谱图

部位从一侧母材通过焊缝区到另一侧母材,间隔 0.2 mm 测一点,检验接头显微硬度分布情况。加载力为 200 g,加载时间为 15 s,可以看出焊缝处的硬度值高于热影响区,其中焊缝中心白亮带出硬度(HV191)与母材相差不大,比焊缝低,说明焊缝中心出现了明显的软化带,热影响区高于母材。热影响区由于受到热应力脆化影响,其组织硬度升高。一般情况下,随着硬度值的提高,强度升高,延性和韧性下降。后续采取了加大焊缝金属冷却速度焊缝中心硬度明显提升。

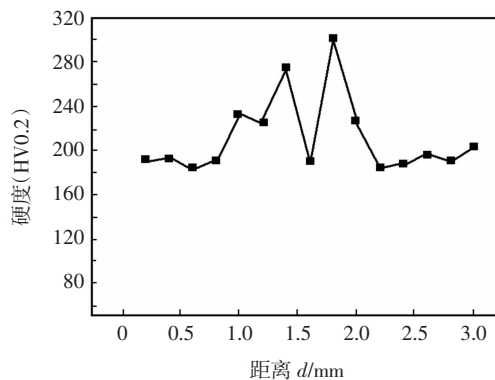


图4 焊接接头硬度分布

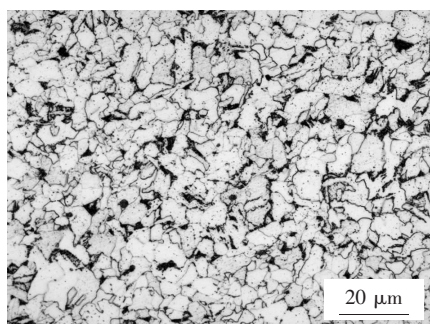
2.3 焊接接头显微硬度

图4 是焊接接头横截面进行硬度测试结果,测试

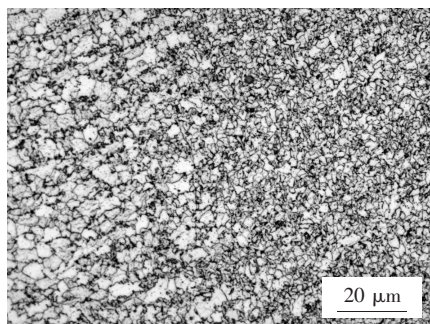
2.4 微合金化材料焊接接头组织

图5 是厚度为 5.6 mm 的某钢厂微合金化 S380 材

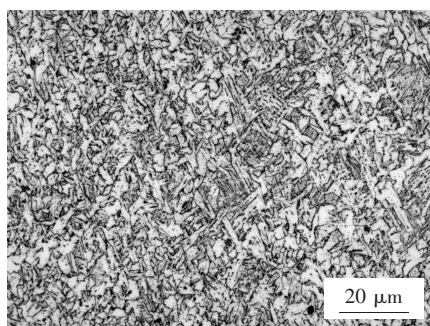
料焊接接头各区域金相组织,母材组织为铁素体+珠光体,焊缝中心组织为铁素体+少量贝氏体,热影响区组织为铁素体+珠光体+少量贝氏体,焊缝组织为贝氏体+针状铁素体,从母材到焊缝中心各区域组织过渡良好,未出现生硬组织。



(a) 母材



(b) 热影响区



(c) 焊缝

图5 微合金化材料焊接接头组织

3 结论

(1)开裂原因分析为熔核区铁素体和魏氏组织带较宽,焊缝金属高温停留时间长,冷速不够快,显微硬度较低;结合面上的熔融金属没有全部排出导致焊缝中心出现了约0.7 mm Mn的氧化物。

(2)防止裂纹出现的措施为从工艺角度采取了加大焊接辊挤压力和加快焊缝金属冷却速度,从材

料角度采取了使用微合金化成分体系。低合金微合金化成分体系的S380钢从母材到焊缝中心各区域组织过渡良好,焊缝未出现马氏体组织,接头性能良好。

参考文献

- [1] 张君彩,刘毅. 焊接温度对焊管焊缝质量的影响[J]. 焊接,2007(1):60.
- [2] 于恩林,韩毅,范玉林,等. HFW管高频感应加热过程电磁热耦合数值模拟[J]. 焊接学报,2010,31(4):5-8.
- [3] 介升旗. 高频焊管常见焊接缺陷分析[J]. 焊管,2003,26(7):48-51.
- [4] Yapp D, Blackman S A. Recent developments in high productivity pipeline welding[J]. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 2004, 26(1): 89-97.
- [5] 肖宏. 高频焊管温度监控及视觉检测系统研究[D]. 兰州:兰州理工大学硕士学位论文,2011.
- [6] 刘飞. 基于ANSYS的高频焊管参数化模拟及其应用优点研究[D]. 兰州:兰州理工大学硕士学位论文,2011.
- [7] 徐德怀. 高频焊管焊接温度监控系统及其影响因素分析[D]. 兰州:兰州理工大学硕士学位论文,2011.
- [8] 郝庆乐. 中小口径高频焊管无缝化技术与装备开发研究[D]. 北京:北京科技大学博士学位论文,2018.
- [9] 刘维,张玉凤,霍立兴,等. 高频焊管残余应力的测量及三维有限元数值模拟[J]. 焊接学报,2007,28(1):37-40.
- [10] 刘建芳,刘科伟,陈建,等. 高频焊管的常见缺陷及预防措施实践[J]. 四川冶金,2013,35(4):59-63.
- [11] 邓有林,绍丽慧. 20钢管焊缝开裂分析[J]. 理化检验——物理分册,2004(11):578-580.
- [12] Toyoda Shunsuke, Goto Sota. Metallurgical design and performance of erw linepipe with high-quality weld seam suitable for extra-low-temperature service[J]. Proceedings of the Biennial International Pipeline Conference, 2012(3):439-446.
- [13] 李军,张文锋,郑岩松,等. 铝合金薄板焊件纵向塑性应变场的数值模拟[J]. 焊接学报,2013,34(1):4-8.
- [14] 贺方平. 成型及焊接工艺对方矩形焊管组织及力学性能的影响[D]. 武汉:武汉科技大学硕士学位论文,2008.

第一作者简介: 孟根巴根,1979年出生,硕士,高级工程师,主要从事电阻焊和激光焊接工艺技术研究工作,发表论文10余篇。